

10/510324

510, 324

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003年10月16日 (16.10.2003)

PCT

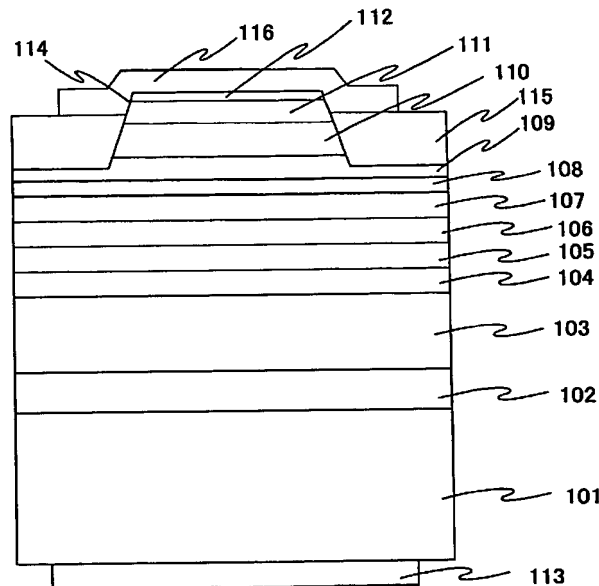
(10) 国際公開番号  
WO 03/085790 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01S 5/20 (72) 発明者; および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/03761 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 種谷 元隆  
(22) 国際出願日: 2003年3月26日 (26.03.2003) (TANEYA, Mototaka) [JP/JP]; 〒631-0001 奈良県 奈良  
(25) 国際出願の言語: 日本語 市 北登美ヶ丘 1-1 2-5 Nara (JP). 山崎 幸生 (YA-  
(26) 国際公開の言語: 日本語 MASAKI, Yukio) [JP/JP]; 〒574-0072 大阪府 大東市  
(30) 優先権データ: 特願2002-102225 2002年4月4日 (04.04.2002) JP 深野 4-1 6-1 9 サンフローラ中川 2 0 6 号 Osaka  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ (JP). 伊藤 茂穂 (ITO, Shigetoshi) [JP/JP]; 〒630-0243 奈  
株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒良県 生駒市 俣口町 9 5 0-1-3 1 3 Nara (JP).  
545-8522 大阪府 大阪市 阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号  
(74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒  
530-0054 大阪府 大阪市 北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号  
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, 三井住友銀行南森町ビル 深見特許事務所 Osaka (JP).  
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体レーザ素子



(57) Abstract: A semiconductor laser device is characterized in that a waveguide is provided in a multilayer structure including, on a substrate (101) transparent to the laser beam and having an index of refraction  $n_s$ , a first clad layer (103) having an index of refraction  $n_{c1}$ , a second clad layer (104) having an index of refraction  $n_{c2}$ , a third clad layer (105) having an index of refraction  $n_{c3}$ , a first-conductivity-type guide layer (106) having an index of refraction  $n_g$ , a quantum well active layer (107), a second-conductivity-type guide layer (109), a second-conductivity-type clad layer (110), and a second-conductivity-type contact layer (111), and that the effective index of refraction of the waveguide is  $n_e$ , and the relation  $n_{c2} < (n_{c1}, n_{c3}) < n_e < (n_g, n_g)$  is satisfied.

(57) 要約: 半導体レーザ素子において、レーザ光に関して透明でかつ屈折率  $n_s$  の基板 (101) の上に順次形成された屈折率  $n_{c1}$  の第1クラッド層 (103)、屈折率  $n_{c2}$  の第2クラッド層 (104)

[続葉有]

WO 03/085790 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

4)、屈折率 $n_{o3}$ の第3クラッド層(105)、屈折率 $n_g$ の第1導電型ガイド層(106)、量子井戸活性層(107)、第2導電型ガイド層(109)、第2導電型クラッド層(110)、および第2導電型コンタクト層(111)を含む積層体中に導波路が構成され、その導波路の実効屈折率が $n_o$ であって、 $n_{o2} < (n_{o1}, n_{o3}) < n_o < (n_g, n_g)$ の関係を満たすことを特徴としている。

## 明細書

## 半導体レーザ素子

## 5 技術分野

本発明は、光導波路の導波モードを解析する際に考慮される導波路の実効屈折率より大きな屈折率を有する基板を含む半導体レーザ素子に関する。より具体的には、本発明は、たとえばGaN基板上に形成された複数の窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x + y \leq 1$ ）層を含む半導体レーザ素子において、垂直横モードの安定性の改善とそれら半導体層に含まれるクラッド層におけるクラック発生の防止に関する。

なお、導波路の実効屈折率の定義に関しては、1978年にACADEMIC PRESSから発行されたCaseyとPanishによるテキストブックHETEROSTRUCTURE LASERS第42-49頁（特に第49頁）を参照すべきである。

## 背景技術

近年、窒化物半導体からなる青色発光ダイオードが実用化され、さらに青色レーザダイオードの実用も可能になっている。

図15において、従来技術によってGaN基板上に作製された窒化物半導体レーザ素子が、模式的な正面図で示されている。このレーザ素子は、GaN基板801上に順次積層された厚さ $4\mu\text{m}$ のn型GaNコンタクト層802、n型 $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラック防止層803、厚さ $1.2\mu\text{m}$ のn型 $\text{AlGa}_{0.14}\text{N}$ クラッド層804（複数の $\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ 層とGaN層とを含む超格子構造を有し、平均で $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ の混晶組成を有する）、厚さ $0.075\mu\text{m}$ のn型GaNガイド層805、量子井戸活性層806（ $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ 井戸層と $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 障壁層の3対を含む）、p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 電子閉じ込め層807、厚さ $0.075\mu\text{m}$ のp型GaNガイド層808、厚さ $0.5\mu\text{m}$ の $\text{AlGa}_{0.1}\text{N}$ クラッド層809（複数の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層とGaN層との超格子構造を有し、平均でA

1<sub>0.05</sub>G a<sub>0.95</sub>Nの混晶組成を有する)、および厚さ15nmのp型GaNコンタクト層810を含んでいる。

図16は、図15のレーザ素子からの光放射のFFP(ファーフールドパターン)において、活性層に垂直な方向の放射パターン(以下、垂直方向放射パターンと称す)を示すグラフである。すなわち、このグラフの横軸は活性層に平行な方向から垂直な方向への偏角(度)を表わし、縦軸は光強度(a.u.:任意単位)を表わしている。図15のレーザ素子のように導波路の実効屈折率に比べて基板材料の屈折率が大きい場合には、活性層に垂直な方向の横モード(垂直横モード)において、基板にまで達したレーザ光が基板を通して放射される。したがって、図16に示されているように、FFPにおいては基本モードの出射方向(活性層に平行な方向)から基板側(下側)に十数度ずれた方向にノイズピークが生じる。このようなノイズピークを生じるレーザ素子は、光ディスクなどへの応用において問題を生じる。また、そのようなノイズピークは導波路の放射損失であるので、レーザ素子のしきい値電流が上昇するとともに、発振時の微分量子効率が低下するという問題を生じる。

他方、図15のレーザ素子におけるように、GaN基板801とn型AlGaNクラッド層804との間に厚い(4μm)n型Al<sub>0.05</sub>G a<sub>0.95</sub>Nコンタクト層802を形成した場合には、GaN基板801への放射モード(漏れモード)は抑制される傾向にはなる。しかし、その場合にはn型AlGaNクラッド層804が0.8μm程度の比較的大きな厚さに形成されなければならない、その結晶中のクラックを完全に抑制することが困難になる。その結果、リーク電流の発生、しきい値電流の上昇、さらには信頼性の低下などが生じて、レーザ素子の作製歩留りが低下する。

そこで、本発明は、GaN基板上に半導体レーザ構造が形成されている場合のように、導波路の実効屈折率に比べて大きい屈折率を有する基板を含む半導体レーザ素子において、垂直方向放射パターンにおけるノイズピークを抑制することを主要な目的としている。本発明はまた、特に窒化物系半導体レーザ素子において、比較的大きなAl組成比を有するn型クラッド層におけるクラック発生によるレーザ素子の作製歩留りの低下を防止するとともに、垂直方向放射パターンに

おけるノイズピークを抑制することをも目的としている。

#### 発明の開示

本発明による半導体レーザ素子においては、レーザ光に関して透明でかつ屈折率  $n_s$  の基板の上に順次形成された屈折率  $n_{c1}$  の第1クラッド層、屈折率  $n_{c2}$  の第2クラッド層、屈折率  $n_{c3}$  の第3クラッド層、屈折率  $n_g$  の第1導電型ガイド層、量子井戸活性層、第2導電型ガイド層、第2導電型クラッド層、および第2導電型コンタクト層を含む積層体中に導波路が構成され、その導波路の実効屈折率が  $n_e$  であって、 $n_{c2} < (n_{c1}, n_{c3}) < n_e < (n_s, n_g)$  の関係を満たすことを特徴としている。

すなわち、本発明においては、導波路領域内の実効屈折率  $n_e$  に比べて高い屈折率  $n_s$  を有する基板を用いる場合に、その基板と活性層との間に設けられるクラッド層を少なくとも3層に分けて、これら3層のクラッド層の中で最も屈折率が小さいクラッド層が他のクラッド層の間に配置されることによって、基板内への光放射が抑制される。特に、Ga<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>基板やAlGa<sub>0.3</sub>N<sub>0.7</sub>基板などの窒化物系半導体基板を用いた窒化ガリウム系半導体レーザ素子においては、Alを含む窒化物半導体からなるクラッド層におけるクラック防止と基板への放射モード（漏れモード）の抑制とを両立させることが本発明によって可能になり、レーザ素子の作製歩留りを飛躍的に向上させることができる。

20

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施例1による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

図2は、図1の半導体レーザ素子の垂直方向放射パターンにおける光強度分布を示すグラフである。

25 図3は、本発明の実施例2による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

図4は、本発明の実施例4による半導体レーザ素子の垂直方向放射パターンにおける光強度分布を示すグラフである。

図5は、本発明の実施例5による半導体レーザ素子の垂直方向放射パターンにおける光強度分布を示すグラフである。

図6は、本発明の実施例8による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

図7は、図6の半導体レーザ素子の垂直方向放射パターンにおける光強度分布を示すグラフである。

図8は、本発明の実施例9による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

5 図9は、図8中の第1導電型クラッド層の厚さ方向におけるA1組成比の変化の一例を模式的に示すグラフである。

図10は、実施例9における第1導電型クラッド層の厚さ方向におけるA1組成比の変化の他の例を模式的に示すグラフである。

10 図11は、実施例9における第1導電型クラッド層の厚さ方向におけるA1組成比の変化のさらに他の例を模式的に示すグラフである。

図12は、実施例9における第1導電型クラッド層の厚さ方向におけるA1組成比の変化のさらに他の例を模式的に示すグラフである。

図13は、本発明の実施例10による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

15 図14は、実施例10における漏れモード放射領域および導波路直下部を説明するための模式的正面図である。

図15は、従来技術による半導体レーザ素子の模式的正面図である。

図16は、従来技術による半導体レーザ素子の垂直方向放射パターンにおける光強度分布を示すグラフである。

## 20 発明を実施するための最良の形態

本発明は、導波路の実効屈折率に比べて大きな屈折率を有する透光性基板を含む半導体レーザ素子であれば、どのような材料を利用した素子であっても適用され得る。より具体的には、Ga<sub>1-xc1</sub>NもしくはAlGa<sub>1-xc1</sub>Nの基板を含む窒化物半導体レーザ素子、またはGaAs基板を含むAlGaInAsP系半導体レーザ素子  
25 に本発明を適用することは、信頼性確保の観点から好ましい。

図1において、本発明の好ましい一適用例として、窒化物半導体基板101と活性層107との間で基板側から順にAl<sub>xc1</sub>Ga<sub>1-xc1</sub>N第1クラッド層103、Al<sub>xc2</sub>Ga<sub>1-xc2</sub>N第2クラッド層104、Al<sub>xc3</sub>Ga<sub>1-xc3</sub>N第3クラッド層105、および第1導電型ガイド層106を含む窒化物系半導体レーザ素子が示されている。

る。なお、これらの半導体層の少なくとも1層におけるN元素の一部がAs、P、  
および/またはSbで置換されてもよいが、その場合にはV族元素中におけるN  
元素の組成比が0.9以上であることが、その層内で組成の均一性を実現しかつ  
良好な結晶性を得るために望ましい。また、第1から第3のクラッド層において、  
Inが組成比0.01~0.05の範囲内で添加されてもよい。その場合には、  
より低温でそれらクラッド層の結晶成長が可能となり、成長した結晶が柔軟にな  
ってクラックがより低減される効果が得られる。

基板101は窒化物半導体で形成され得るが、最も好ましくはGaNで形成さ  
れる。一般に、GaN基板は他の窒化物半導体基板に比べて結晶の質が高く、信  
頼性の高い半導体レーザ素子を得るために好ましい。特に、GaN基板をn型導  
電性にした場合には基板の裏面に電極を形成することができ、このことは半導体  
レーザチップを小型化し得るので好ましい。GaN以外にAlGaNも基板材料  
として用いられ得るが、その場合には基板の割れ防止の観点から、III族元素  
中のAlの組成比は0.02以下であることが望ましい。

窒化物半導体のみからなる基板以外に、本発明においては、異種基板とその上  
の窒化物半導体層とを含む擬似窒化物半導体基板も用いられ得る。そのような擬  
似窒化物半導体基板において、SiO<sub>2</sub>等の局所的な結晶成長抑制膜を用いて窒  
化物半導体層の横方向成長を利用することによって転位密度を低減させるELO  
G (epitaxial lateral over growth)法が用いられれば、異種基板上の窒化物半  
導体層内にSiO<sub>2</sub>等の局所的膜が含まれることもある。なお、擬似窒化物半導  
体基板を含むレーザ素子に関しては、擬似基板に含まれる窒化物半導体層が導波  
路の実効屈折率n<sub>e</sub>に比べて高い屈折率を有しかつ10μm以上の厚さを有する  
場合に上述の垂直方向放射パターンにおけるノイズピーク(図16参照)が顕著  
になるので、本発明の適用が望ましくなる。

図1に示されているように、第1クラッド層103と基板101との間には、  
下地層102が挿入されてもよい。下地層102は、n型GaNで形成すること  
ができる。n型GaNの下地層102は、GaN基板101表面の凹凸や傷による  
悪影響を軽減し、クラッド層103中の結晶欠陥の低減を可能ならしめるので  
好ましい。下地層102は、n型AlGaNで形成することも可能である。ただ

し、基板 101 の表面の凹凸や傷の影響を緩和するためには、下地層 102 における A1 の組成比は III 族元素中で 0.02 以下であることが望ましい。

第 1 クラッド層 103 は、導波路の実効屈折率  $n_e$  より低い屈折率を有する窒化物半導体で形成され、たとえば  $n$  型  $Al_{x_{c1}}Ga_{1-x_{c1}}N$  で形成され得る。ここで、  
5 A1 の組成比  $x_{c1}$  は、その層の屈折率が  $n_e$  よりも低くなるように選択される。すなわち、 $n_e$  と同じ屈折率を有する A1 GaN 材料の A1 混晶比を  $x_{ne}$  で表わせば、 $x_{ne} < x_{c1}$  にする必要がある。他方、 $x_{c1} \leq 0.07$  にすることは、第 1 クラッド層 103 の結晶中で微小なクラックの発生を抑制する観点から好ましい。  
10 さらに好ましくは、 $x_{c1} \leq 0.05$  にすれば、基板 101 内へのレーザ光の放射を抑制しつつ FFP の垂直方向広がり角を  $26^\circ$  以下に小さくすることが可能になり、半導体レーザ素子を光学系と結合させる際の光結合係数を高くすることができる。

第 2 クラッド層 104 は、第 1 クラッド層 103 よりも低い屈折率を有する窒化物半導体で形成され、たとえば  $n$  型  $Al_{x_{c2}}Ga_{1-x_{c2}}N$  で形成され得る。ここで、  
15 A1 の組成比は、 $x_{ne} < x_{c1} < x_{c2}$  の関係を満たすように選択され、 $0.06 \leq x_{c2} \leq 0.3$  の範囲が好ましい。すなわち、A1 の組成比  $x_{c2}$  が 0.06 より小さい場合は、活性層 107 への光閉じ込め量が減少して、しきい値電流の上昇を招く。他方、 $x_{c2}$  が 0.3 よりも大きい場合は、第 2 クラッド層 104 内にクラックが生じて、信頼性の高いレーザ素子を実現できない。

第 3 クラッド層 105 は、導波路の実効屈折率  $n_e$  よりも低い屈折率を有しか  
20 かつ第 2 クラッド層 104 よりも高い屈折率を有する窒化物半導体で形成されること  
によって、第 3 クラッド層 105 がいない場合に比較して導波路の実効屈折率  $n_e$  を  
高くする効果を発揮し得る。具体的には、第 3 クラッド層 105 は  $n$  型  $Al_{x_{c3}}Ga_{1-x_{c3}}N$  で形成され得て、A1 の組成比は  $x_{ne} < x_{c3} < x_{c2}$  の関係を満たすよ  
25 うに選択される。他方、 $x_{c1} \leq 0.07$  にすることは、第 3 クラッド層 105 の  
結晶中で微小なクラックの発生を抑制する観点から好ましい。

第 1、第 2、および第 3 のクラッド層 103、104、105 の厚さをそれぞれ  $d_{c1}$ 、 $d_{c2}$ 、 $d_{c3}$  とした場合に、 $d_{c2} < d_{c1}$  かつ  $d_{c3} < d_{c1}$  に設定することによつて、基板 101 内への漏れモードを効果的に防止し得るとともに、最も A1 組成



比の高い第2クラッド層の厚さ  $d_{c2}$  が薄くなってクラックの発生が抑制され得る。第2クラッド層104の好ましい厚さ範囲は、 $0.05\mu\text{m} \leq d_{c2} \leq 0.35\mu\text{m}$  である。 $0.05\mu\text{m} > d_{c2}$  の場合には、第2クラッド層104としての光閉じ込め効果がなくなり、しきい値電流が上昇する。他方、 $d_{c2} > 0.35\mu\text{m}$  の場合には、FFPにおける垂直方向の半値全角が  $26^\circ$  より大きくなり、レーザ素子とレンズとの光結合効率が低下する。 $d_{c2} > 0.35\mu\text{m}$  の場合にはさらに、3層のクラッド層において結晶の割れが生じ易くなり、レーザ素子の作製歩留りが低下する。

3層のクラッド層103、104、105のトータル厚さ  $d_t = d_{c1} + d_{c2} + d_{c3}$  は、 $4.5\mu\text{m}$  以下であることが望ましい。トータル厚さ  $d_t$  が  $4.5\mu\text{m}$  を越える場合は、基板上の全ての半導体層の結晶成長終了時点でのクラックは抑制されたとしても、その後のp型不純物活性化工程や電極のアロイング工程における熱処理によって結晶の割れが発生する。他方、トータル厚さ  $d_t$  が  $1.4\mu\text{m}$  よりも薄い場合には、基板101内への漏れモードを抑制する効果が小さくなってレーザ損失が発生する。

第1、第2、第3のクラッド層103、104、105の導電型は限定されないが、これらの少なくとも1つの層における導電型がp型または絶縁性である場合には、そのp型または絶縁性のクラッド層よりも活性層107に近い側に存在するn型層の表面にn型電極を形成しなければならない。他方、少なくとも1つのクラッド層がアンドープ層である場合には、自由キャリア吸収に起因するレーザ吸収損失が低減され得る。また、3つのクラッド層103、104、105のすべてをn型半導体で形成する場合には、基板101上にn型電極を形成することができ、n型電極の接触抵抗の低減や電極形成プロセスの簡略化が可能になる。さらに、3つのクラッド層の導電型をn型にするとともに基板101をn型導電性により、n型電極を基板101の裏面に形成することができ、レーザチップサイズの縮小やチップの実装工程の簡略化が可能になる。

3つのクラッド層103、104、105は必ずしも互いに接触している必要はなく、第1クラッド層103と第2クラッド層104の間、または第2クラッド層104と第3クラッド層105との間に、InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>、Ga<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>、またはIn

GaAlNなどの薄層が挿入されてもよい。ただし、そのような薄層を挿入する場合には、その薄層の厚さ（すなわち、第1クラッド層と第2クラッド層との離間距離または第2クラッド層と第3クラッド層との離間距離に相当）が導波路内部におけるレーザ光の波長の $1/4$ 以下にされることが望ましく、窒化物半導体による青紫色レーザの場合には $0.04\mu\text{m}$ 以下にされることが望ましい。

また、第1クラッド層103と窒化物半導体基板101または下地層102との間には、InGaInからなる歪み緩和層（図示せず）が挿入されてもよい。この歪み緩和層の厚さは、 $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.06\mu\text{m}$ 以下の範囲内で選択することができる。 $0.02\mu\text{m}$ より薄い場合には、歪み緩和効果が発現しない。他方、 $0.06\mu\text{m}$ より厚い場合には、歪み緩和層中にピットが発生しやすくなり、その上に結晶成長する複数の半導体層の結晶性が悪化する。また、歪み緩和層のIn組成比は、 $0.03$ 以上 $0.12$ 以下が望ましい。In組成比が $0.03$ より小さい場合には、歪み緩和効果が発現しない。他方、In組成比が $0.12$ より大きい場合には、歪み緩和層中にピットが発生しやすくなり、その上に結晶成長する複数の半導体層の結晶性が悪化する。この歪み緩和層は、その上に積層する第1～第3クラッド層における $(d_{c1} \times x_{c1} + d_{c2} \times x_{c2} + d_{c3} \times x_{c3})$ が $0.15\mu\text{m}$ を越える場合に顕著な歪み緩和効果を発揮するので、導入されることが望ましい。

さらに、第1、第2、および第3のクラッド層の少なくともいずれかは、多層構造を有していてもよい。多層構造の具体例としては、 $0.1\mu\text{m}$ 厚さでAl組成比が $0.1$ のAlGaIn層の代わりに、 $20\text{nm}$ 厚さの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{In}$ 層と $20\text{nm}$ 厚さのGaIn層とが交互に25回繰返された多層構造を採用することができる。多層構造中の各層のAl組成比や厚さは適宜に選択され得るが、各層の厚さが $d_i$ でAl組成比が $x_i$ であるとした場合に、平均Al組成比 $\Sigma(d_i \cdot x_i) / \Sigma(d_i)$ が上述のクラッド層に関する条件を満たすように設定されなければならない。

第1導電型ガイド層106は、導波路の実効屈折率 $n_0$ より大きい屈折率を有する窒化物半導体で形成され、たとえばn型GaInまたはn型InGaInで形成され得る。ガイド層106の厚さは、 $0.03\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 以下であるこ

とが望ましい。0.03  $\mu\text{m}$ よりも薄い場合と0.2  $\mu\text{m}$ より厚い場合のいずれにおいても、活性層107内への光閉じ込め効果が小さくなり、レーザ素子のしきい値電流の上昇を招く。また、n型ガイド層106としてInGa<sub>x</sub>N材料を用いる場合には、Inの組成比が0.01以上0.1以下の範囲で選択されることが望ましい。Inの組成比が0.1を越える場合には、活性層107への電子の注入効率が低下し、レーザ素子のしきい値電流が上昇する。

活性層107は、InGa<sub>x</sub>Nからなる単一量子井戸構造を有するか、またはInGa<sub>x</sub>Nからなる量子井戸層とGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>x</sub>N、もしくはAlGa<sub>1-x</sub>InNからなる障壁層とを2対以上含む多重量子井戸構造を有し得る。特にInGa<sub>x</sub>Nの障壁層を含む多重量子井戸構造を利用することにより、活性層107内への光閉じ込め量を大きくでき、レーザ素子のしきい値電流が低減され得る。また、多重量子井戸活性層107においては、量子井戸数を2～5の間で選ぶことにより、レーザ素子のしきい値電流を低減し得る。さらに、多重量子井戸活性層107の全厚さが0.04  $\mu\text{m}$ 以上0.08  $\mu\text{m}$ 以下である場合に、レーザ素子のしきい値電流が低減され得る。さらに、活性層107の厚さが0.04  $\mu\text{m}$ 以上0.06  $\mu\text{m}$ 以下である場合に、垂直方向のレーザ放射角度を24°以下に小さくすることが可能となる。活性層107には不純物としてSi、Sn、Se、Teなどを添加してもよく、特にSiを $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の範囲で添加することにより、レーザ素子の微分ゲインを最大にすることができて、低しきい値電流が実現され得る。

活性層107上の複数の半導体層は、活性層107内へ光を閉じ込める導波路構造と活性層107内にキャリアを閉じ込めるヘテロ構造とを同時に実現し得る積層を構成できればよい。たとえば、活性層107上に、p型保護層108、p型ガイド層109、p型クラッド層110、およびp型コンタクト層111が順次積層され、少なくともp型クラッド層110とp型コンタクト層111にはリッジストライプ構造が形成される。

p型保護層108は、活性層107に比べて伝導帯の障壁高さが0.3 eV以上である窒化物半導体で形成され、たとえばMgが添加されたp型AlGa<sub>x</sub>Nで形成され得る。このp型AlGa<sub>x</sub>N中のAl組成比は、0.1以上0.45以下

であることが望ましい。A1の組成比が0.1より小さい場合には、電子に対する障壁高さが低くなって、電子が効果的に活性層107に閉じ込められずにp型層にオーバーフローし、レーザ素子のしきい値電流が上昇する。他方、A1組成比が0.45を越える場合にも、添加したMgが活性化しにくくなって、電子に対する障壁高さが実効的に低下する。より望ましくは、0.3以上0.45以下のA1組成比を選択することにより、高温（70℃以上）におけるレーザ素子の信頼性を確保することが可能となる。p型保護層108の厚さは、5nm以上30nm以下であることが望ましい。5nmより薄ければ、層の均一性が失われて、一部においては活性層107からp型層へ電子がオーバーフローする原因となる。他方、30nmより厚ければ、保護層108が活性層107に与える結晶歪みの影響が大きくなり、レーザ素子のしきい値電流が上昇する。

第2導電型ガイド層109は $n_0$ よりも大きい屈折率を有する窒化物半導体で形成され、たとえばMgが添加されたp型のGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N、InGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N、またはInGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Nで形成され得る。p型ガイド層109の厚さは、0.03μm以上0.2μm以下であることが望ましい。0.03μmよりも薄い場合と0.2μmよりも厚い場合のいずれにおいても、活性層107内への光閉じ込め効果が小さくなり、レーザ素子のしきい値電流の上昇を招く。また、第2導電型ガイド層109としてInGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>NまたはInGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Nを用いる場合には、Inの組成比は0.01以上0.1以下の範囲で選択されることが望ましい。Inの組成比が0.1を越える場合には、活性層107内への電子の注入効率が低下し、レーザ素子のしきい値電流が上昇する。

第2導電型クラッド層110は、 $n_0$ よりも小さい屈折率を有する窒化物半導体で形成され、たとえばMgを添加したp型AlGa<sub>1-x</sub>Nで形成され得る。そのAl組成比は、0.06以上0.2以下であることが望ましい。0.06より小さい場合は、活性層107への光閉じ込め効果が低下し、レーザ素子のしきい値電流が上昇する。Al組成比が0.2を越える場合には、Mg添加によるp型の導電率が低下して、レーザ素子の寿命が短くなる。p型クラッド層109の厚さは、0.25μm以上1.5μm以下であることが好ましい。0.25μmより薄い場合は、大部分のレーザ光がp型電極112に吸収されて、導波路損失が大きく

なる。また、 $1.5\mu\text{m}$ より厚い場合には、クラッド層の抵抗が大きくなって、レーザ素子の寿命が短くなる。より望ましくは、 $0.35\mu\text{m}$ 以上 $0.7\mu\text{m}$ 以下の厚さを選択することにより、クラックの発生が抑制され、かつリッジストライプの幅を $1\sim 2\mu\text{m}$ に細く形成することが可能となる。

- 5 第2導電型コンタクト層111は、第2導電型電極112とオーミック接触を形成し得る窒化物半導体で形成され、たとえばMgを添加したp型GaNで形成され得る。また、コンタクト層111はInを $0.01\sim 0.15$ の組成比範囲内で添加した材料でも形成可能である。この場合は、GaNを採用した場合に比べてホール濃度を増加させることが可能となり、第2導電型電極112における
- 10 接触抵抗を低減し得る。第2導電型コンタクト層111の厚さは、 $0.06\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。 $0.06\mu\text{m}$ より薄くなれば、コンタクト層として第2導電型電極112と低抵抗の接触を形成することが不可能となる。また、第2導電型コンタクト層111の屈折率が $n$ 。よりも大きいので、その厚さが $0.2\mu\text{m}$ より大きくなれば、活性層107をコアとする導波路とは
- 15 別にコンタクト層111をコアとする副次的導波路が形成され、この副次的導波路にレーザ光が結合して出力損失を発生させる。

- 窒化物半導体基板101上に半導体積層構造を形成する前に、その基板面がエッチングされてもよい。窒化物半導体基板の作製の方法などによっては、基板の表面が微細な凹凸を含んでいる場合があるので、その表面を一旦エッチングで平坦にしてから下地層102や第1クラッド層103を形成することにより、半導体積層構造の結晶性が改善され得る。
- 20

- 本発明において、窒化物半導体層の結晶成長には、MOVPE（有機金属気相成長法）、MOCVD（有機金属化学気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）などのように、窒化物半導体層を成長させる
- 25 得るいずれの方法をも利用することができる。

#### （実施例1）

実施例1として、図1の窒化物半導体レーザ素子を製造する工程が説明される。まず、 $1125^\circ\text{C}$ のn型GaN基板101上において、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMG（トリメチルガリウム）とアンモニア、および不純

物としてのシラン ( $\text{SiH}_4$ ) を用いて、 $n$ 型Ga<sub>0.95</sub>N下地層102が3  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、同じ基板温度において、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMA (トリメチルアルミニウム)、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしてのシランを用いて、Siが濃度  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  にドーピングされた  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなる  $n$  型第1クラッド層103が1.8  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。同様にして、Siが濃度  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  にドーピングされた  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなる  $n$  型第2クラッド層104が0.2  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。さらに、同様にして、Siが濃度  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  にドーピングされた  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなる  $n$  型第3クラッド層105が0.1  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、同じ基板温度において、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMGとアンモニア、および不純物ガスとしてのシランを用いて、Siが濃度  $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  にドーピングされたGa<sub>0.99</sub>Nからなる  $n$  型ガイド層106が0.08  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、基板温度を760°Cに下げて、キャリアガスとしての窒素またはアルゴン、原料ガスとしてのTMGとアンモニア、さらに不純物ガスとしてのシランを用いて、Siが濃度  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  にドーピングされたGa<sub>0.99</sub>Nからなる障壁層が12 nmの厚さに成長させられる。続いて、シランガスを止めてTMGを追加して、アンドープの  $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$  からなる井戸層が4 nmの厚さに成長させられる。これらの障壁層と井戸層を3回繰返して形成した後に最後の障壁層を積層し、総厚60 nmで多重量子井戸構造 (MQW) を有する活性層107が形成される。

次に、同じ基板温度において、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMA、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用いて、Mgが濃度  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  で添加された  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$  からなる  $p$  型保護層108が20 nmの厚さに成長させられる。

次に、基板温度が1035°Cに上げられ、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしてのTMGとアンモニア、および不純物ガスとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を用いて、Mgが濃度  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  で添加されたGa<sub>0.99</sub>Nからなる  $p$  型ガイド層109が

0.08  $\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、同じ基板温度において、キャリアガスとしての窒素と、原料ガスとしてのTMA、TMG、およびアンモニアを用いて、アンドープの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなるA層を2.5 nmの厚さに成長させ、続いて、TMAを止めて不純物ガスとして $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用いて、Mgが濃度 $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ でドーパされたGa<sub>0.9</sub>NからなるB層を2.5 nmの厚さに成長させる。このようにしてA層とB層とを交互に100回繰返してに積層し、総厚0.5  $\mu\text{m}$ の多層膜（超格子構造）を含むp型クラッド層110が形成される。

次に、同じ基板温度において、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしてのTMGとアンモニア、および不純物ガスとしての $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用いて、Mgが濃度 $1.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ でドーパされたGa<sub>0.9</sub>Nからなるp型コンタクト層111が60 nmの厚さに成長させられる。

以上のように成長させられた複数の半導体層を含むウエハが室温付近まで冷却されて反応容器から取り出され、p型コンタクト層111上にパラジウム／モリブデン／金からなるp型電極層112が形成される。次に、p型電極層112上にストライプ状のレジストマスク（図示せず）を形成して、RIE（反応性イオンエッチング）によってリッジストライプ114を形成する。すなわち、Arガスによってp型電極112をエッチングし、さらにArと $\text{Cl}_2$ と $\text{SiCl}_4$ の混合ガスによってp型コンタクト層111とp型クラッド層110の途中までエッチング、またはp型ガイド層109の途中までエッチングする。そして、底辺における1.6  $\mu\text{m}$ の幅とp型電極112の上面における1.3  $\mu\text{m}$ の幅を有するリッジストライプ114が形成される。

さらに、リッジストライプ114上のレジストを残したままで、ウエハの上面を覆うように、絶縁膜115（ここでは、主として $\text{ZrO}_2$ からなるZr酸化物）が厚さ0.5  $\mu\text{m}$ に形成される。その後、レジストを除去することにより、リッジストライプ114の上辺が露出させられる。

次に、n型Ga<sub>0.9</sub>N基板101の厚さが110  $\mu\text{m}$ になるまで、その裏面が研削されて研磨される。その後、基板裏面上にn型電極113を形成し、その電極の合金化処理が530℃で約2分間行われる。そして、p型電極112と少なくとも

もその両側近傍の絶縁膜 115 を覆うように、モリブデンと金からなる p 型パッド電極 116 が形成される。そして、破線スクライプ法によってウエハの劈開面で共振器端面を形成した後、チップ分割によって半導体レーザ素子が作製される。なお、共振器長は、 $180 \sim 850 \mu\text{m}$  の範囲内にあることが望ましい。

5 得られたレーザ素子をヒートシンクにダイボンディングし、p 型パッド電極 116 にワイヤボンディングして、室温でレーザ発振が試みられた。その結果、しきい値電流が  $2.5 \text{ kA cm}^{-2}$  で、しきい値電圧が  $4.3 \text{ V}$  であり、発振波長  $405 \text{ nm}$  の連続発振が確認された。また、 $70^\circ\text{C}$  で 3 万時間以上の寿命を示すレーザ素子が 83% の歩留りで得られた。

10 図 2 は、本実施例 1 によるレーザ素子の FFP における垂直方向放射パターンの光強度分布を示している。図 2 においては図 16 に示されているような従来の漏れモードによるノイズピークが大幅に低減され、レーザ素子の光ディスク装置などへの応用においても問題を生じない程度に抑制されている。なお、本実施例 1 では、複数の半導体層中のクラック発生も観測されなかった。また、本実施例 15 1 では、FFP における垂直方向放射パターンの半値全幅角を  $22.5^\circ$  に小さくすることができ（図 2 参照）、同じ FFP における水平方向放射パターンの半値全幅角  $10.5^\circ$  に対する比率が小さな 2.1 になる。すなわち、実施例 1 のレーザ素子では、レーザ光をレンズで集光する際の光の利用効率の向上を図ることができる。

20 (実施例 2)

図 3 において、実施例 2 によるレーザ素子が模式的な正面図で示されている。図 3 と図 1 の比較からわかるように、実施例 2 のレーザ素子は、n 型下地層 102 と n 型第 1 クラッド層 103 との間に歪み緩和層 120 が挿入されていることのみにおいて実施例 1 と異なっている。歪み緩和層 120 は、たとえば n 型  $\text{In}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$  で形成され得る。

25 すなわち、 $800^\circ\text{C}$  の基板温度において、キャリアガスとしての 95% 窒素と 5% 水素の混合ガス、原料ガスとしての TMG、TMI、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしてのシランを用いて、Si が濃度  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  でドーパされた厚さ  $0.03 \mu\text{m}$  の n 型  $\text{In}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$  歪み緩和層 120 が形成され得る。



る。

本実施例 2 で得られたレーザ素子においては、実施例 1 と同様の特性を示す素子の作製歩留りが 94% に上昇した。

#### (実施例 3)

5 実施例 3 によるレーザ素子は、図 1 中の誘電体層 115 が高抵抗または n 型の AlGaIn 層で置き換えられることのみにおいて実施例 1 と異なっている。そのような実施例 3 のレーザ素子においても、実施例 1 の場合とほぼ同様の効果が得られる。この AlGaIn 層の作製方法としては、MOVPE 法、MOCVD 法、HVPE 法、MBE 法などの結晶成長方法を適用することができる。また、スパッタ法でその AlGaIn 層を形成する場合には、基板温度は結晶成長の場合に比較して低温の 700℃ 以下に設定され得るので、活性層 107 の熱劣化を防止する観点から好ましい。

また、その AlGaIn 層の Al 組成比は、高出力まで安定した横モードを実現するために、p 型クラッド層 110 に比べて高くすることが望ましい。さらに、  
15 その AlGaIn 層の Al と p 型クラッド層 110 の Al 組成比を同一にし、かつリッジストライプ 114 を形成するためのエッチングを p 型ガイド層 109 に達するまで行う場合には、高出力まで安定した横モードを実現できるとともに、その AlGaIn 層の割れの発生に伴うリーク電流を効果的に防止し得る。

#### (実施例 4)

20 実施例 4 によるレーザ素子は、第 1 クラッド層 103 に関する条件が  $x_{c1} = 0.038$  と  $d_{c1} = 3.3 \mu\text{m}$  に設定されたことのみにおいて、実施例 1 の場合と異なっている。図 4 は、本実施例 4 のレーザ素子の FFP における垂直方向放射パターンを示している。この図 4 からわかるように、実施例 4 においては、FFP の垂直方向放射パターンにおけるノイズピークがほぼ完全に防止されており（図 16 をも参照）、かつその垂直方向放射パターンの半値全角も小さな  $2.2^\circ$  であり、応用上最も望ましいレーザ素子が得られる。

#### (実施例 5)

実施例 5 によるレーザ素子は、第 2 クラッド層 104 に関する条件が  $x_{c2} = 0.07$  と  $d_{c2} = 0.35 \mu\text{m}$  に設定されたことのみにおいて、実施例 1 の場合と異

なっている。図5は、本実施例5のレーザ素子のFFPにおける垂直方向放射パターンを示している。この図5からわかるように、本実施例5においても、垂直方向放射パターンにおけるノイズピークが顕著に防止されており、かつその垂直方向放射パターンの半値全角も小さな $2.3^\circ$ であり、良好なレーザ素子が得られる。

#### (実施例6)

実施例6によるレーザ素子は、第3クラッド層105に関する条件が $x_{c3}=0.05$ と $d_{c3}=0.05\mu\text{m}$ に設定されたことのみにおいて、実施例1の場合と異なっている。この実施例6においても、実施例5と同様の効果が得られる。

#### (実施例7)

実施例7のレーザ素子は、量子井戸活性層107が少し変更されたことのみにおいて実施例1の場合と異なっている。すなわち本実施例7における活性層の形成においては、n型ガイド層106の形成後に基板温度が $800^\circ\text{C}$ にされ、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしてのTMI、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしてのシランを用いて、Siが濃度 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ でドーブされた $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなる障壁層が $8\text{nm}$ の厚さに成長させられる。続いて、シランガスを止めて、アンドープの $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ からなる井戸層が $3\text{nm}$ の厚さに成長させられる。これらの障壁層と井戸層の形成を5回繰返して積層し、その後に最後の障壁層を成長させることによって総厚 $63\text{nm}$ の多重量子井戸構造(MQW)を含む活性層107が形成される。本実施例7においても、実施例1の場合と同様の効果が得られる。

#### (実施例8)

図6は、実施例8によるAlGaAs系レーザ素子を模式的な正面図で示している。このレーザ素子の作製においては、まず $720^\circ\text{C}$ のn型GaAs基板601上で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMGとアルシン、および不純物ガスとしてのシランを用いて、n型GaAs下地層602が $0.5\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMA、TMG、およびアルシン、さらに不純物ガスとしてのを用いて、Siが濃度 $3 \times$

10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> でドーピングされた Al<sub>0.04</sub>Ga<sub>0.96</sub>As からなる n 型第 1 クラッド層 603 が 3.5 μm の厚さに成長させられる。同様にして、Si が濃度 2 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> でドーピングされた Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.8</sub>As からなる n 型第 2 クラッド層 604 が 0.15 μm の厚さに成長させられ、Si が濃度 1 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> でドーピングされた Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As からなる n 型第 3 クラッド層 605 が 0.1 μm の厚さに成長させられる。続いて、TMA の供給を停止して、Si が濃度 8 × 10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup> でドーピングされた GaAs からなる n 型ガイド層 606 が 0.12 μm の厚さに成長させられる。

次に、基板温度が 680 °C に下げられ、キャリアガスとしての水素および原料ガスとしての TMG とアルシンを用いて、アンドープの GaAs からなる障壁層が 20 nm の厚さに成長させられる。続いて、TMI を追加供給して、アンドープの In<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>As からなる井戸層が 11 nm の厚さに成長させられる。それらの障壁層と井戸層を 2 回繰返して積層した後に、最後の障壁層を成長させて総厚 82 nm の多重量子井戸構造 (MQW) を含むの活性層 607 が形成される。

次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしての TMA、TMG、およびアルシン、さらに不純物ガスとしての DEZn (ジエチルジンク) を用いて、Zn が濃度 1.3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> で添加された Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As からなる p 型保護層 608 が 20 nm の厚さに成長させられる。

次に、基板温度を 720 °C 上げて、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしての TMG とアルシン、および不純物ガスとしての DEZn を用いて Zn が濃度 7 × 10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup> で添加された GaAs からなる p 型ガイド層 609 が 0.12 μm の厚さに成長させられる。次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしての TMA、TMG、およびアルシン、さらに不純物ガスとしての DEZn を用いて Zn が濃度 1.6 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> で添加された Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As からなる p 型クラッド層 610 が厚さ 1.5 μm に成長させられる。

次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしての TMG とアンモニア、および不純物ガスとしての DEZn を用いて、Zn が濃度 3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> でドーピングされた GaAs からなる p 型コンタクト層 611 が 1.0 μm の厚さに成長させられる。

以上のように成長させられた複数の半導体層を含むウエハが室温付近まで冷却されて、反応容器から取り出される。得られたウエハ上には、ストライプ状のシリコン酸化膜（図示せず）をマスクとするRIEによって、リッジストライプが形成される。すなわち、 $\text{Cl}_2$  ガスを用いてp型コンタクト層611とp型クラッド層610の途中まで、またはp型ガイド層609の途中までエッチングし、  
5 底辺における $4\mu\text{m}$ のストライプ幅とp型電極412の上面における $3\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジストライプ614が形成される。

次に、シリコン酸化膜マスクを残したままウエハを再び結晶成長装置内にセットし、 $720^\circ\text{C}$ の基板温度において、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMGとアルシン、および不純物ガスとしてのシランを用いて、厚さ $1.0\mu\text{m}$ のn型GaAs電流狭窄層615が選択成長させられる。  
10

ウエハを室温付近まで冷却した後、選択成長マスクとして用いたシリコン酸化膜を除去し、現れたリッジストライプ614頂部のp型コンタクト層611上に、亜鉛／金からなるp型電極612が形成される。

次に、n型GaAs基板601が厚さ $90\mu\text{m}$ になるまでその裏面が研削されて研磨され、その後にn型電極613がその基板裏面に形成される。そして、その電極のアロイングが、真空中で $450^\circ\text{C}$ にて3分間行なわれる。次に、p型電極612と少なくともその両側近傍の電流狭窄層615を覆うように、モリブデンと金からなるp型パッド電極616が形成される。最後に、ウエハを劈開して  
15 共振器端面を形成した後に、チップ分割によって半導体レーザ素子が作製される。なお、共振器長は、 $180\sim 850\mu\text{m}$ の範囲内にあることが望ましい。

得られたレーザ素子をヒートシンクにダイボンディングし、p型パッド電極616にワイヤボンディングして、室温でレーザ発振が試みられた。その結果、しき電流が $450\text{Acm}^{-2}$ で、しきい値電圧が $1.7\text{V}$ であり、発振波長 $895\text{nm}$ の連続発振が確認された。また、 $85^\circ\text{C}$ で2万時間以上の寿命を示す素子が  
20 80%の歩留りで得られた。

図7は、本実施例8によるレーザ素子のFFPにおける垂直方向放射パターンを示している。図7からわかるように、実施例8においては、図16に示されているような従来のノイズピークがほぼ完全に抑制されている。また、本実施例で

は、FFPにおける垂直方向放射パターンの半値全幅角を小さな $23^\circ$ にすることができ、同じFFPにおける水平方向放射パターンの半値全幅角 $10^\circ$ に対する比率も小さな2.3になる。すなわち、実施例8のレーザ素子は、レンズで集光する際の光の利用効率の向上をも図ることができる。

5 (実施例9)

図8は、実施例9によるレーザ素子を模式的な正面図で示している。このレーザ素子では、n型クラッド層の厚さ方向において連続的に屈折率が変化させられている。このレーザ素子の作製においては、まず $1125^\circ\text{C}$ のn型Ga<sub>0.95</sub>N基板701上で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMGとアンモニア、  
10 および不純物ガスとしてのシランを用いて、n型Ga<sub>0.95</sub>N下地層702が $3\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。

次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしてのTMA、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしてのシランを用いて、Siが濃度 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ でドーパされた $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなるn型第1クラッド層703が $2.5\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。ここで、n型第1クラッド層703のAl組成比 $x$ は、下界面では $x=0$ 、上界面では $x=0.12$ に単調増加するように変化させられる。なお、本実施例9ではAl組成比 $x$ が層厚に比例して増加するように線形に変形させられるが、層厚の2次関数となるように $x$ を増加させてもよいし、階段状に $x$ を増加させてもよい。

20 次に、同じ基板温度と同種のガスを用いて、第2クラッド層が省略されて、Siが濃度 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で添加されたn型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 第3クラッド層705が $0.3\mu\text{m}$ の厚さに成長させられる。ここで、n型第3クラッド層705のAl組成比 $y$ は、下界面（n型第1クラッド層703との界面）の $y=0.12$ から上界面の $y=0$ まで単調減少するように変化させられる。

25 図9のグラフは、本実施例9のn型クラッド層703と705における厚さ方向のAl組成比の変化を示している。このグラフにおいて、横軸はn型クラッド層703の下面からの層厚（ $\mu\text{m}$ ）を表わし、縦軸はAl組成比を表わしている。なお、n型第1クラッド層703とn型第3クラッド層705のAl組成比を連続的に変化させて極大値となる界面付近（n型第1クラッド層703とn型第3

クラッド層 705 の界面付近) が n 型第 2 クラッド層として機能するので、異なる層として第 2 クラッド層を形成する必要がない。このように、本実施例 9 では、基板 701 側から活性層 707 側に向かって、屈折率が高低高の少なくとも 3 つの領域が存在するように n 型クラッド層 703、705 を形成することが重要である。

さらに、同じ基板温度で、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしての TMG とアンモニア、および不純物ガスとしてのシランを用いて、Si が濃度  $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  でドーパされた GaN からなる n 型ガイド層 706 が  $0.13 \mu\text{m}$  の厚さに成長させられる。

次に、基板温度を  $780^\circ\text{C}$  に下げて、キャリアガスとしての窒素またはアルゴン、原料ガスとしての TMG とアンモニア、および不純物ガスとしてのシランを用いて、Si が濃度  $1 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の範囲で添加された GaN からなる障壁層が  $10 \text{ nm}$  の厚さに成長させられる。続いて、シランをとめて TMI を追加で、不純物無添加の  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなる井戸層が  $3 \text{ nm}$  の厚さに成長させられる。これらの障壁層と井戸層を 3 回繰返して積層した後に、最後の障壁層を成長させて総厚  $49 \text{ nm}$  の多重量子井戸構造 (MQW) を含む活性層 707 が形成させられる。

次に、同じ基板温度で、シラン、TMG、およびアンモニアを用いて、n 型 GaN バンド調整層 720 が  $7 \text{ nm}$  の厚さに形成される。さらに、TMG とアンモニアを用いて、アンドープ GaN 中間層 721 が  $70 \text{ nm}$  の厚さに形成される。次に、キャリアガスとしての水素、原料ガスとしての TMA、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガスとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を用いて、Mg が濃度  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  で添加された  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなる p 型保護層 708 が  $12 \text{ nm}$  の厚に成長させられる。

さらに、基板温度を  $1035^\circ\text{C}$  に上げて、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしての TMG とアンモニア、不純物ガスとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を用いて、Mg が濃度  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  で添加された GaN からなる p 型ガイド層 709 が  $0.08 \mu\text{m}$  の厚さに成長させられる。次に、同じ基板温度で、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしての TMA、TMG、およびアンモニア、さらに不純物ガ

5      スとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を用いて、 $\text{Mg}$  が濃度  $9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  でドーピングされた  $\text{p}$  型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層 710 が厚さ  $0.5 \mu\text{m}$  に成長させられる。さらに、同じ基板温度で、キャリアガスとしての窒素、原料ガスとしての  $\text{TMG}$  とアンモニア、および不純物ガスとしての  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  を用いて、 $\text{Mg}$  が濃度  $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  でドーピングされた  $\text{GaN}$  からなる  $\text{p}$  型コンタクト層 711 が  $60 \text{ nm}$  の厚さに成長させられる。

10      以上のように成長させられた複数の半導体層を含むウエハは室温付近まで冷却され、反応容器から取り出される。そのウエハの  $\text{p}$  型コンタクト層 711 を覆うように、パラジウム／モリブデン／金からなる  $\text{p}$  型電極層 712 が形成される。次に、 $\text{p}$  型電極 712 層上にレジストマスク（図示せず）を形成して、 $\text{RIE}$  を利用してリッジストライプが形成される。すなわち、 $\text{Ar}$  ガスによって  $\text{p}$  型電極 712 エッチングし、さらに  $\text{Ar}$  と  $\text{Cl}_2$  と  $\text{SiCl}_4$  の混合ガスによって  $\text{p}$  型コンタクト層 711 と  $\text{p}$  型クラッド層 710 の途中まで、または  $\text{p}$  型ガイド層 709 の途中までエッチングされる。そして、底辺において  $1.8 \mu\text{m}$  のストライプ幅を有し、かつ  $\text{p}$  型電極 712 の上面において  $1.6 \mu\text{m}$  のストライプ幅を有するリッジストライプ 714 が形成される。

15      さらに、リッジストライプ 714 上のレジストを残したままで、ウエハの上面を覆うように絶縁膜 715（ここでは、酸化珪素）を厚さ  $0.2 \mu\text{m}$  に形成した後、レジストを除去することによってリッジストライプ 714 の上面が露出させられる。

20      次に、 $\text{n}$  型  $\text{GaN}$  基板 701 の厚みが  $130 \mu\text{m}$  になるまでその裏面が研削されて研磨された後に、ハフニウムとアルミニウムを含む金属からなる  $\text{n}$  型電極層 713 が基板裏面に形成される。そして、この電極層には、 $480^\circ\text{C}$  で約 2 分間の合金化処理が行われる。また、リッジストライプ 714 上の  $\text{p}$  型電極 712 とその両側近傍の絶縁膜 715 の少なくとも一部を覆うように、モリブデンと金からなる  $\text{p}$  型パッド電極 716 が形成される。最後に、破線スクライプ法によってウエハを劈開して共振器端面を形成した後に、チップ分割によって半導体レーザ素子が作製される。なお、共振器長は、 $180 \sim 850 \mu\text{m}$  の範囲内であることが望ましい。

得られたレーザ素子をヒートシンクにダイボンディングし、p型パッド電極116にワイヤボンディングして、室温でレーザ発振が試みられた。その結果、しきい電流が $2.1 \text{ kA cm}^{-2}$ 、しきい値電圧が $4.2 \text{ V}$ で、発振波長 $400 \text{ nm}$ の連続発振が確認された。また、 $80^\circ\text{C}$ で2万時間以上の寿命を示すレーザ素子が得られた。

本実施例9によるn型クラッド層703、705の膜厚方向におけるAl組成比の変化プロファイルが図9に示されている。このようにn型クラッド層のAl組成比を徐々に変化させることによって、実施例1に比較して、よりAlGaIn層中のクラックを防止することが可能となり、レーザ素子の歩留りを向上させることが可能になる。

本実施例9のレーザ素子のFFPにおける垂直方向放射パターンの半値全幅は小さな $16^\circ$ であり、また基板701内への放射光に起因するノイズピークが効果的に抑制され得る。さらに、実施例9のレーザ素子では、FFPにおける水平方向放射パターンの半値全幅が $10.5^\circ$ であり、楕円率が小さな1.5になり得る。すなわち、本実施例のレーザ素子を用いることによって、光ディスク用ピックアップにおいて、ビーム整形プリズムの省略による小型化やコストダウンにの効果が得られる。

なお、本実施例9では、図9に示されているようにAl組成比のxやyが層厚に従って線形に変化させられているが、Al組成比の変化のプロファイルは2次関数や階段状でもよく、たとえば図10、図11、および図12に例示されているような組成比分布によっても本発明の効果が期待され得る。

本実施例9のように、導波路の実効屈折率よりも高い屈折率を有する透明基板と活性層との間で、Al組成比を連続的または階段状に変化させることによってAlGaInクラッド層のクラックを抑制するためには、活性層707と基板701の間のクラッド層のトータル厚み $d_t$ が $1.4 \mu\text{m} \leq d_t \leq 4.5 \mu\text{m}$ の範囲内にあることが重要である。なお、この場合にクラッド層として機能する厚さ部分 $d_t$ は、導波路の実効屈折率よりも低い屈折率を有する部分のみであることに留意すべきである。たとえば、図9の場合には、Al混晶比が0.04を超える領域がクラッド層として機能する部分であり、その厚さ $d_t$ は $1.8 \mu\text{m}$ となる。



また、活性層 707 と基板 701 との間に位置するクラッド層の中で最も屈折率の低い (A1 組成比の高い) 部分の A1 組成比  $x_{\max}$  を  $0.06 \leq x_{\max} \leq 0.35$  範囲内にすることにより、クラッド層のクラックを抑制しつつ基板 701 内への放射モードを効果的に抑制することができる。さらに、クラッド層中において

5  $x_{\max}$  となる部分の中心位置が、クラッド層の下面から厚み方向に  $2d_c/3$  よりも上側になるように調整することにより、FFP における垂直方向放射パターンの半値全幅を  $21^\circ$  よりも小さくすることが可能となる。

さらに、本実施例 9 のように屈折率を連続的に変化させることによって 3 層のクラッド層と同様の機能を実現する場合においても、n 型第 1 クラッド層 703

10 や n 型第 3 クラッド層 705 の一部またはこれらの 2 層の界面に、導波路内におけるレーザ波長の  $1/4$  以下の厚さ (本実施例の場合は  $0.04 \mu\text{m}$  以下の厚さ) を有しかつその上下に接するクラッド層とは異なる屈折率を有する薄層を挿入することができる。具体的には、n 型第 1 クラッド層 703 と n 型第 3 クラッド層 705 との界面に  $0.005 \mu\text{m}$  から  $0.04 \mu\text{m}$  の範囲内の厚さの GaN

15 クラック抑制層を挿入したり、n 型第 1 クラッド層 703 中に  $0.01 \mu\text{m}$  から  $0.04 \mu\text{m}$  の範囲内の厚さの GaN バッファ層を挿入してもよい。

また、本実施例 9 では、傾斜接合を実現する手段として A1 組成比を連続的に変化させた例を説明したが、GaN 層と AlGaIn 層を含む多層積層膜からなる超格子構造において、GaN 層と AlGaIn 層の厚さ比を徐々に変化させたりして

20 作製したクラッド層であっても、本発明の効果を発揮し得ることは言うまでもない。

#### (実施例 10)

図 13 は、実施例 10 によるレーザ素子を模式的な正面図で示している。このレーザ素子は、光出射端面において n 型第 1 クラッド層 103 より下の部分に光

25 吸収体膜 800 が形成されていることのみにおいて、実施例 1 の場合と異なっている。この光吸収体膜 800 によって、GaN 基板 101 および GaN 下地層 102 を通って放射される光がレーザ素子外部に出射されることを防止し、FFP への悪影響をより低減することができる。さらに、光吸収体層 800 を設けることによって、放射モード (漏れモード) が多少残る半導体積層構造であっても、

F F Pに対する放射モードの影響を低減することが可能となるので、実施例 1 に比べて、F F Pにおける垂直方向放射パターンの半値全幅をさらに狭めることも可能になる。なお、光吸収体膜 8 0 0 としては、レーザ光を吸収する材料であれば、金属でも樹脂でも用いることができる。

- 5       また、図 1 4 に示されているように、光吸収体膜 8 0 0 の形成範囲は、光出射端面において n 型第 1 クラッド層 1 0 3 より下側のノイズ光放射領域 8 1 0 の面積の 3 5 % 以上を被覆していることが望ましい。ノイズ光放射領域 8 1 0 の中でも、リッジストライプ直下部（導波路直下部）8 2 0 の 6 0 % 以上を光吸収体膜 8 0 0 で被覆することがより好ましい。このように光吸収体膜 8 0 0 を設けることにより、F F P に対する放射モードの悪影響を低減し得る。また、外部から基板 1 0 1 の端面に照射される光がその端面で反射したり基板 1 0 1 内に侵入することも防止することができ、光ピックアップのような光学系における不要光を除去し得る効果をも生じる。
- 10

- 実施例 1 0 のレーザ素子がこのような効果を発揮する例としては、光ディスク用ピックアップにおいてトラッキング信号を生成するために 3 ビーム法を利用する場合がある。3 ビーム中のサブビームが戻り光として基板 1 0 1 端面に照射される位置を含めて光吸収体膜 8 0 0 を形成することにより、レーザ素子内部から基板 1 0 1 端面を通して出力される放射モード光とサブビームの戻り光とが相互に干渉することに起因して発生するトラッキング信号雑音を除去することが可能になる。
- 15
- 20

#### (実施例 1 1)

- 実施例 1 1 は、実施例 1 0 に比べて、光吸収体膜 8 0 0 を光反射膜に置換したことのみににおいて異なっている。このような実施例 1 1 においても、実施例 1 0 の場合と同様の効果が得られる。なお、本実施例 1 1 においても、光反射体を形成すべき領域は、実施例 1 0 の光吸収体膜 8 0 0 の領域と同じである。
- 25

      また、反射膜としては、レーザ光の透過率が 5 0 % 以下になるような金属膜または誘電体多層膜を利用することができる。具体的には、レーザ素子端面上に誘電体膜を形成した上に蒸着形成された 1 0 n m 以上の厚さを有する A l 、 A u 、 P t 、 N i などの金属膜や、S i O<sub>2</sub> と T i O<sub>2</sub> を 4 層積層して反射率を 5 0 ~ 7

5 %になるように調整した誘電体多層膜などが利用され得る。

#### 産業上の利用可能性

- 5 以上のように、本発明によれば、導波路の実効屈折率より大きな屈折率を有する透明基板を含む半導体レーザ素子において、基板と活性層との間に位置するクラッド層の材料と膜厚を所定の屈折率関係になるように選定することにより、基板内への放射損失を顕著に低減でき、しきい値電流が低くかつ信頼性に優れた半導体レーザ素子を実現することができる。また、本発明によれば、窒化物半導体レーザ素子において、結晶中に発生するクラックを効果的に抑制して作製歩留りが改善されるとともに、基板内への放射損失を抑制することが可能になる。
- 10

## 請求の範囲

1. レーザ光に関して透明でかつ屈折率 $n_s$ の基板(101)の上に順次形成された屈折率 $n_{c1}$ の第1クラッド層(103)、屈折率 $n_{c2}$ の第2クラッド層(104)、屈折率 $n_{c3}$ の第3クラッド層(105)、屈折率 $n_g$ の第1導電型ガイド層(106)、量子井戸活性層(107)、第2導電型ガイド層(109)、第2導電型クラッド層(110)、および第2導電型コンタクト層(111)を含む積層体(102-111)中に導波路が構成され、

前記導波路の実効屈折率が $n_g$ であって、 $n_{c2} < (n_{c1}, n_{c3}) < n_g < (n_s, n_g)$ の関係を満たすことを特徴とする半導体レーザ素子。

2. 前記第1クラッド層(103)の厚さが $d_{c1}$ 、前記第2クラッド層(104)の厚さが $d_{c2}$ 、そして前記第3クラッド層(105)の厚さが $d_{c3}$ であって、 $d_{c2}, d_{c3} < d_{c1}$ および $1.4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3}$ の条件を満たすことを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

3. 前記第2クラッド層(104)はAlを含むIII-V族半導体で形成されており、前記量子井戸活性層(107)はInを含むIII-V族半導体で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

4. 前記基板(101)および前記積層体(102-111)が窒化物半導体からなり、前記第1クラッド層(103)、前記第2クラッド層(104)、および前記第3クラッド層(105)のいずれもがAlを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

5. 前記第1クラッド層(103)の厚さが $d_{c1}$ 、前記第2クラッド層(104)の厚さが $d_{c2}$ 、前記第3クラッド層(105)の厚さが $d_{c3}$ であり、 $d_{c2}, d_{c3} < d_{c1}$ および $1.4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3} \leq 4.5 \mu m$ の条件を満たすことを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザ素子。

6. 前記第2クラッド層(104)のIII族元素中のAlの組成比 $x_{c2}$ が $0.06 \leq x_{c2} \leq 0.3$ である窒化物半導体からなり、前記第2クラッド層(104)の厚さ $d_{c2}$ が $0.05 \mu m \leq d_{c2} \leq 0.35 \mu m$ であることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ素子。

7. 前記第1クラッド層(103)のIII族元素中のAlの組成比 $x_{c1}$ が $x_{c1} \leq 0.07$ で、かつ前記第3クラッド層(105)のIII族元素中のAlの組成比 $x_{c3}$ が $x_{c3} \leq 0.07$ であることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ素子。

5 8. レーザ光を出射する端面において前記第1クラッド層(103)より下方の光放射領域(810; 820)に光吸収体と光反射膜(800)のいずれかが形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

9. 前記光吸収膜または前記光反射膜(800)は前記光放射領域(810; 820)の面積の35%以上の領域に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の半導体レーザ素子。

10 10. 前記光吸収膜または前記光反射膜(800)は前記光放射領域(810; 820)の中で前記導波路の下方に該当する面積(820)の65%以上の部分に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の半導体レーザ素子。

11. 前記光反射膜(800)の光透過率が50%以下であることを特徴とする請求項8に記載の半導体レーザ素子。

12. レーザ光に関して透明でかつ屈折率 $n_g$ の基板(701)の上に順次形成された第1導電型クラッド層(703; 705)、屈折率 $n_g$ の第1導電型ガイド層(706)、量子井戸活性層(707)、第2導電型ガイド層(709)、第2導電型クラッド層(710)、第2導電型コンタクト層(711)を含む積層体(702; 703; 705-7011)中に導波路が構成された窒化物系半導体レーザ素子であって、

前記導波路の実効屈折率が $n_o$ であって $n_o < n_g$ 、 $n_g$ の条件を満たし、前記第1導電型クラッド層(703; 705)は厚さ方向に順次第1、第2、および第3の領域を含み、前記第2領域は前記第1領域および前記第3領域に比べて大きなAl組成比を有し、前記第1領域、前記第2領域、および前記第3領域のいずれもが $n_o$ より小さな屈折率を有することを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

13. 前記第1領域、前記第2領域、および前記第3領域を含む総厚 $d_t$ が $1.4 \mu m \leq d_t \leq 3.5 \mu m$ の範囲内にあることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体レーザ素子。

1 4. 前記第2領域中において最も高いA1組成比  $x_{\max}$  が  $0.06 \leq x_{\max} \leq 0.$

3 5の範囲内にあることを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体レーザ素子。

1 5. 前記第2領域中において最も高いA1組成比  $x_{\max}$  を有する部分は前記第

5 1導電型クラッド層(703; 705)の中で基板側から前記活性層に向かう方向において  $2d_t/3$  より大きな距離の位置に存在することを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体レーザ素子。

1 6. レーザ光を出射する端面において前記第1導電型クラッド層(703; 705)よりも下方の光放射領域(810; 820)に光吸収膜と光反射膜(800)のいずれかが形成されていることを特徴とする請求項12に記載の半導体レーザ素子。

1 7. 前記光吸収膜または前記光反射膜(800)は前記光放射領域(810; 820)の面積の35%以上の領域に形成されていることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザ素子。

1 8. 前記光吸収膜または前記光反射膜(800)は前記光放射領域(810; 820)の中で前記導波路の下方に該当する面積(820)の65%以上の部分に形成されていることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザ素子。

1 9. 前記光反射膜(800)の光透過率が50%以下であることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザ素子。

FIG.1

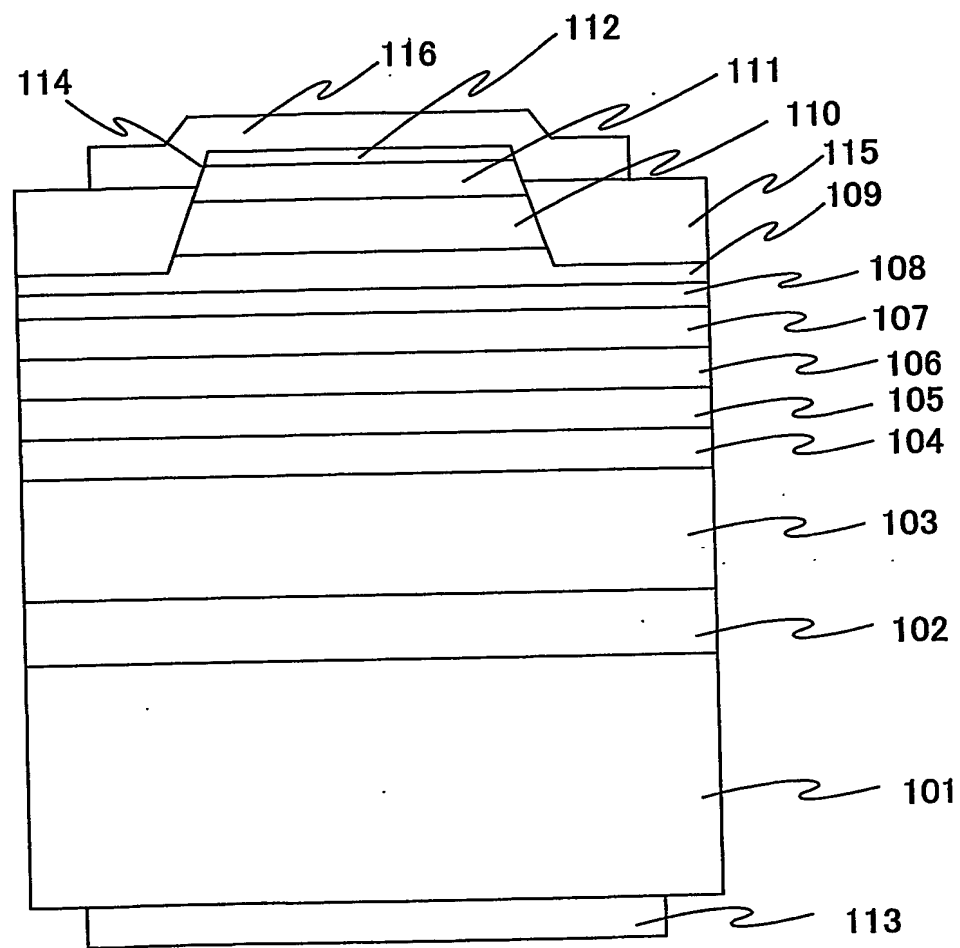


FIG.2

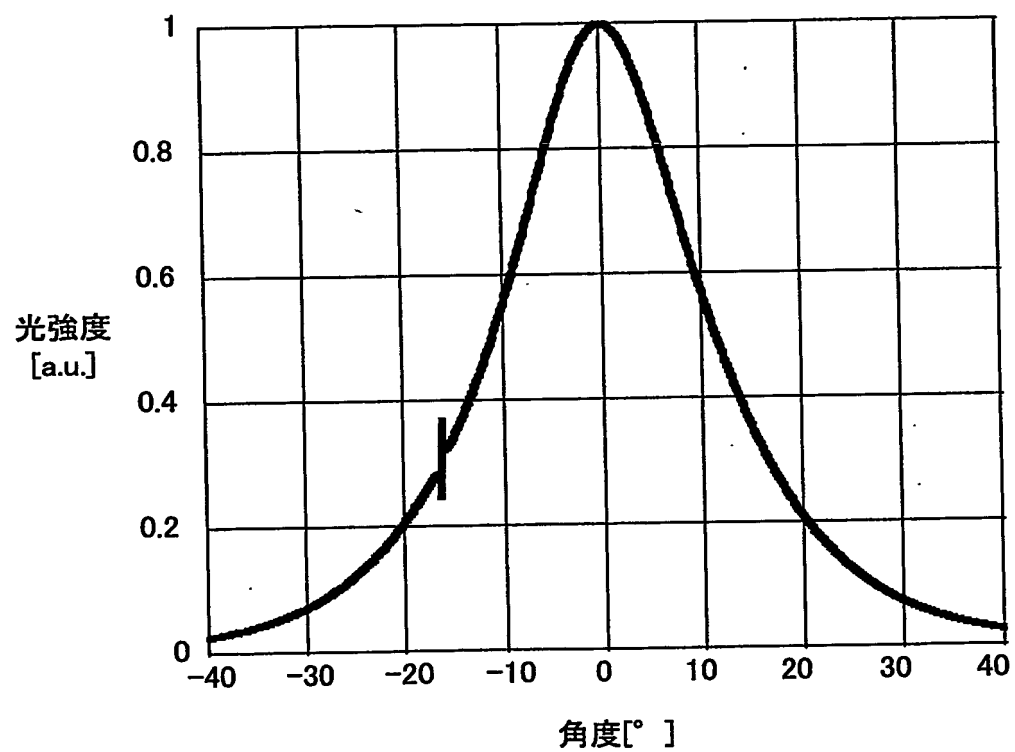




FIG.3

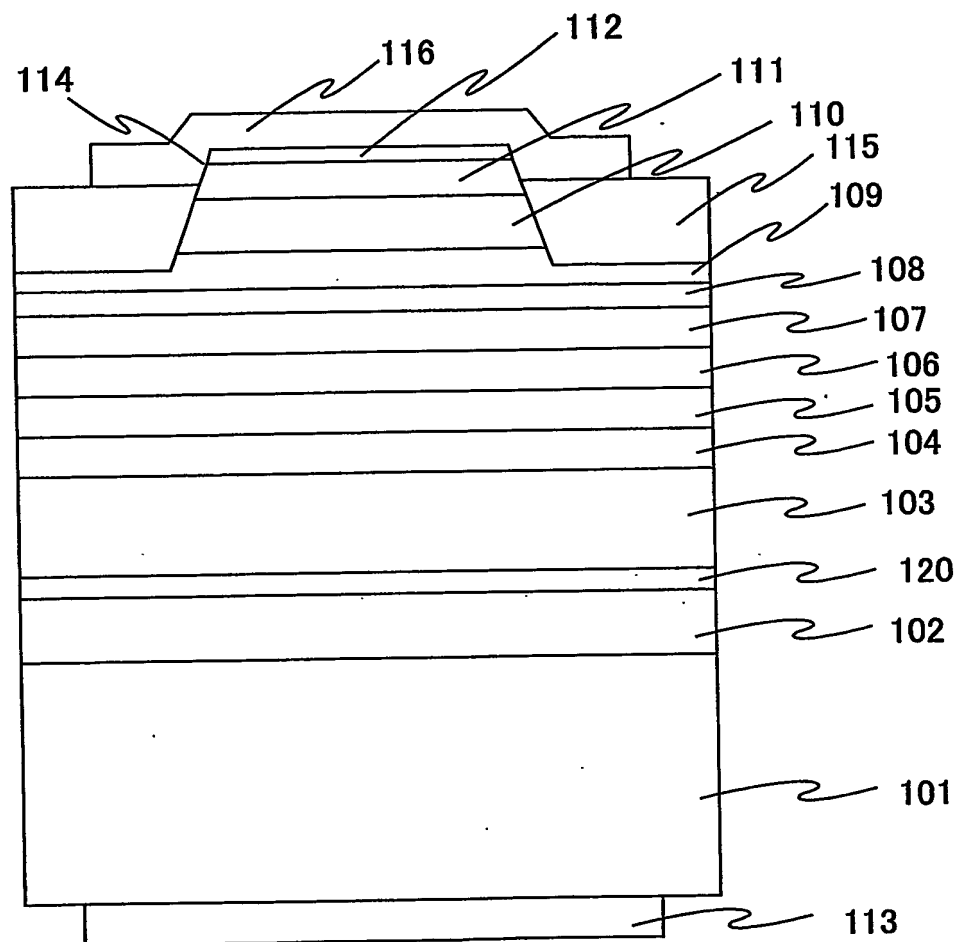


FIG.4

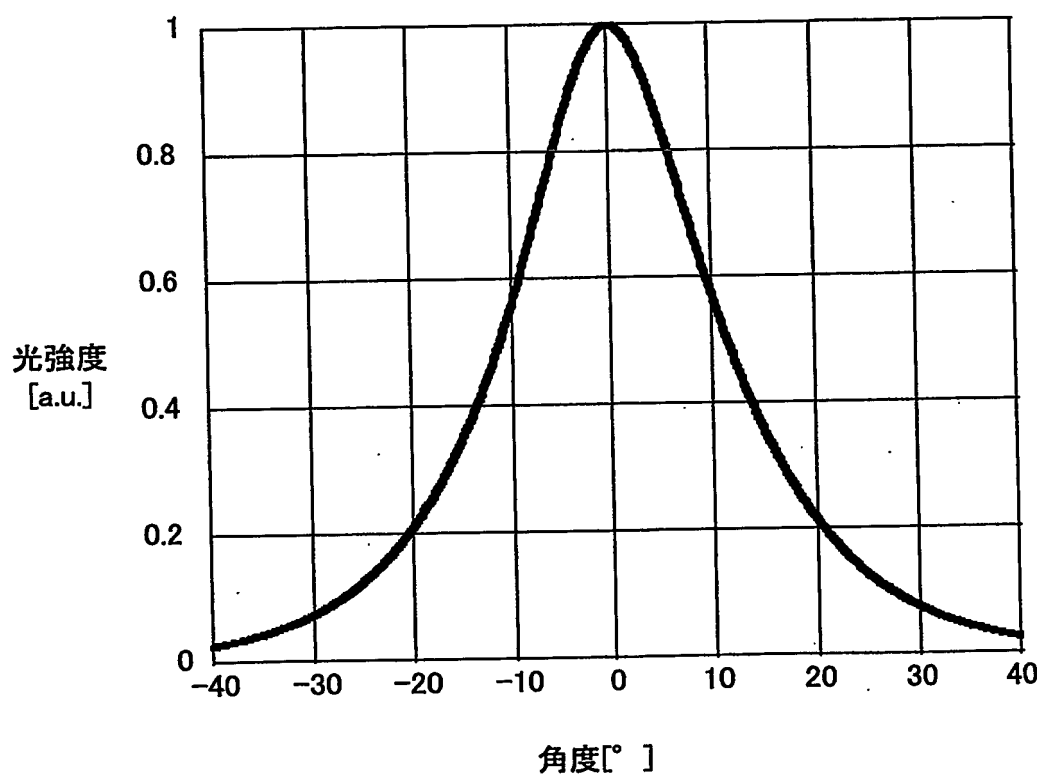


FIG.5

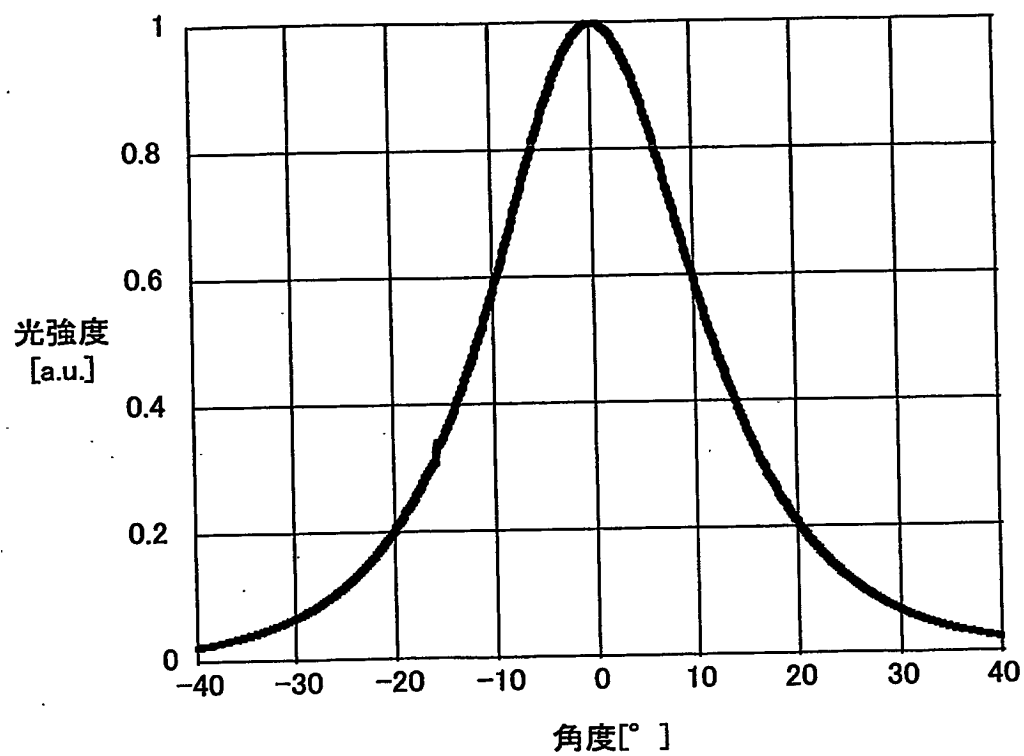


FIG.6

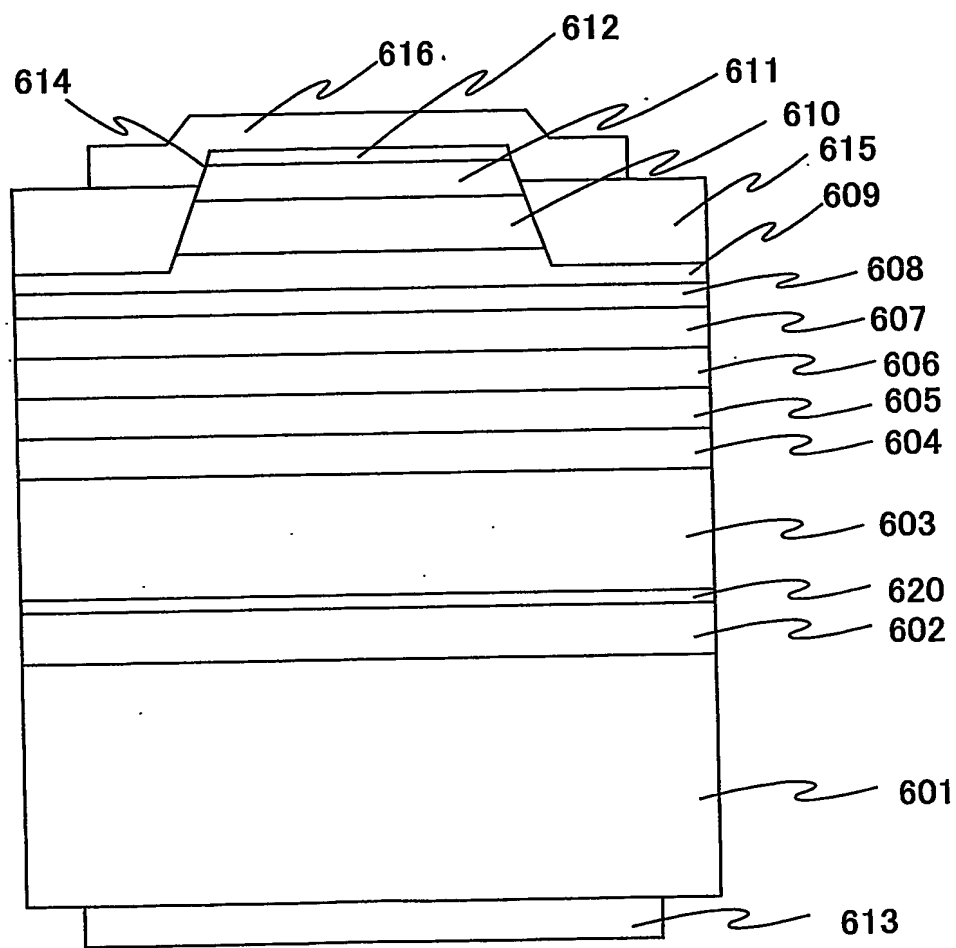


FIG.7

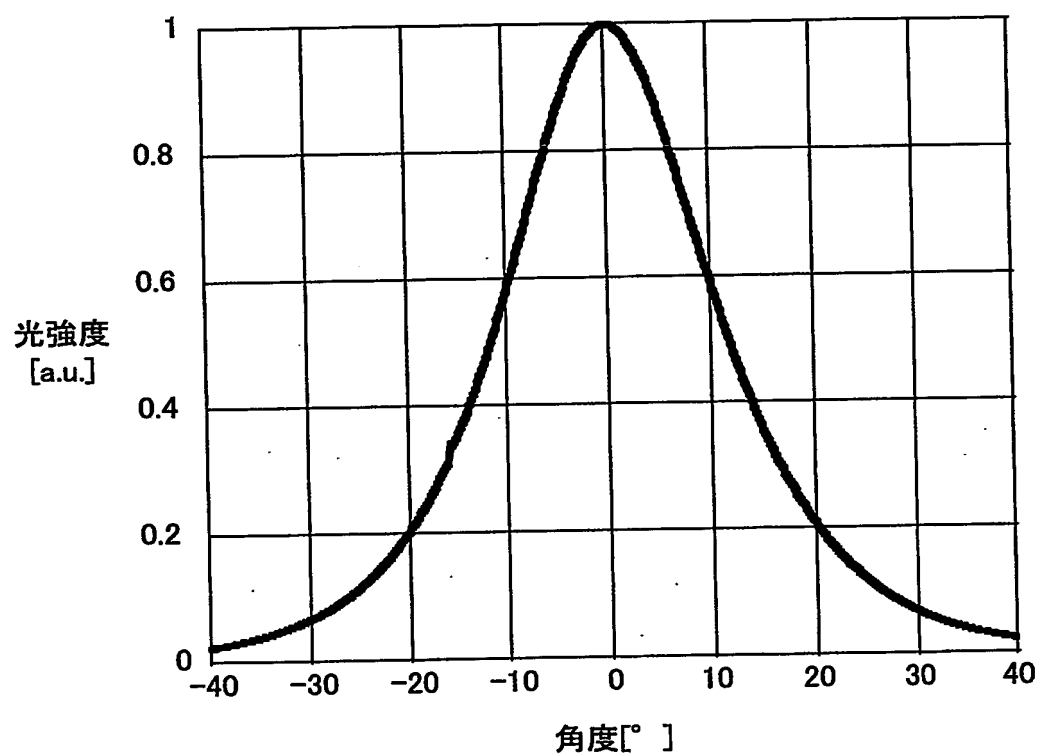


FIG.8

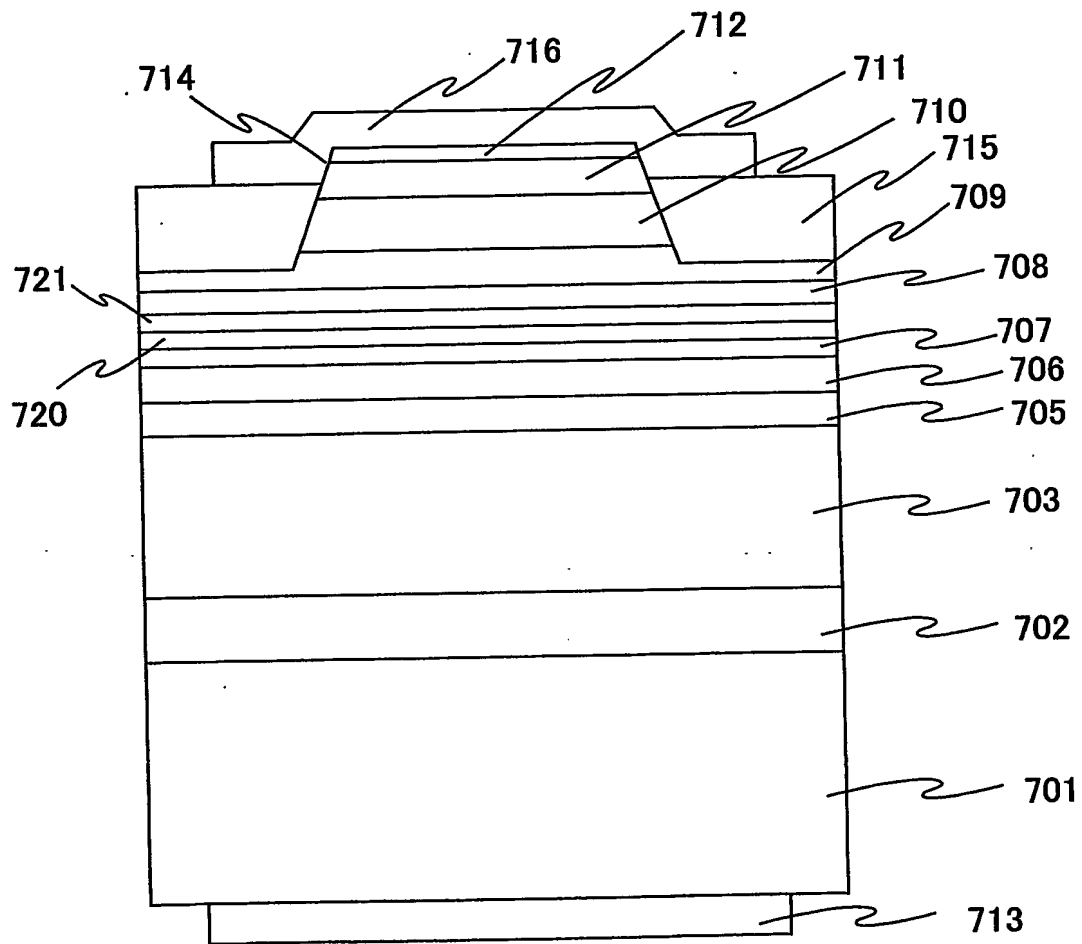


FIG.9

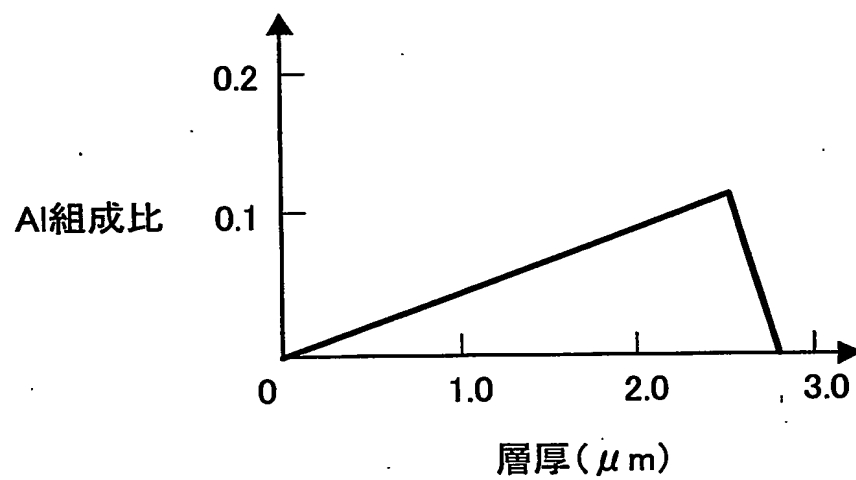


FIG.10

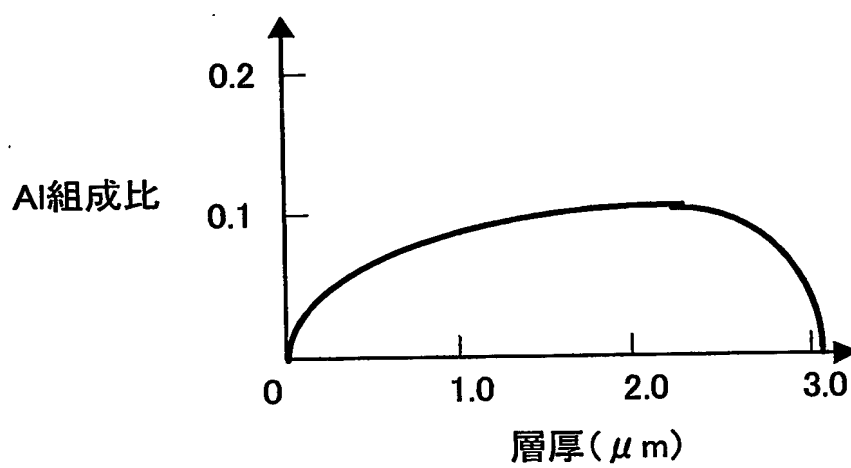




FIG.11

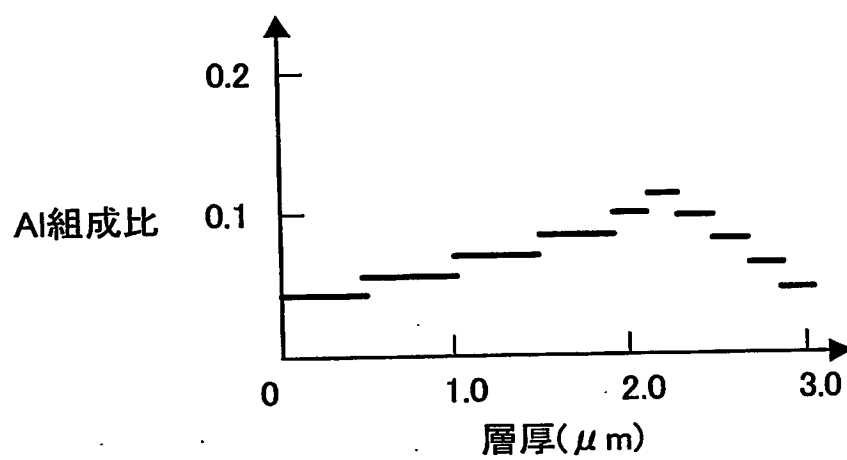


FIG.12

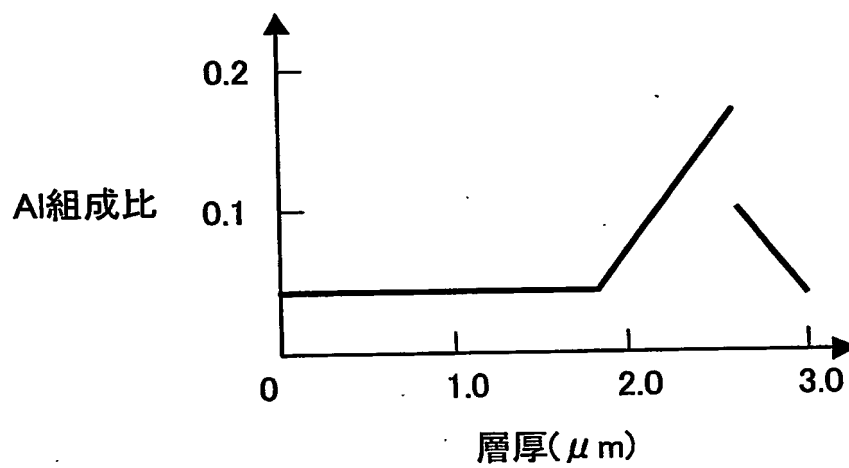


FIG.13

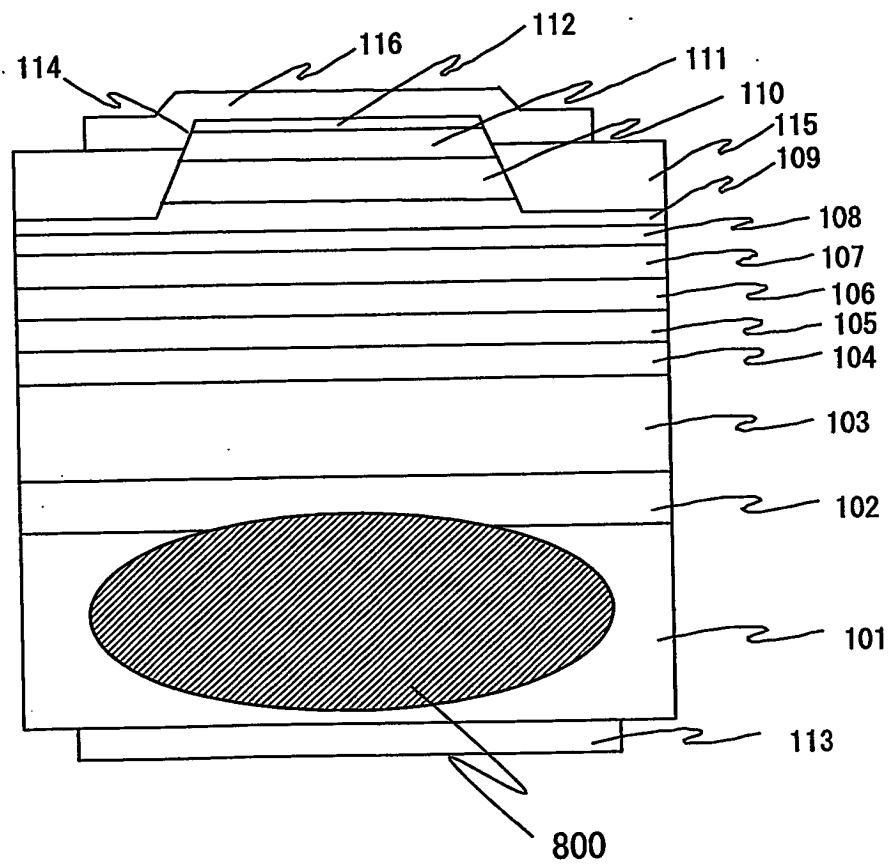


FIG.14

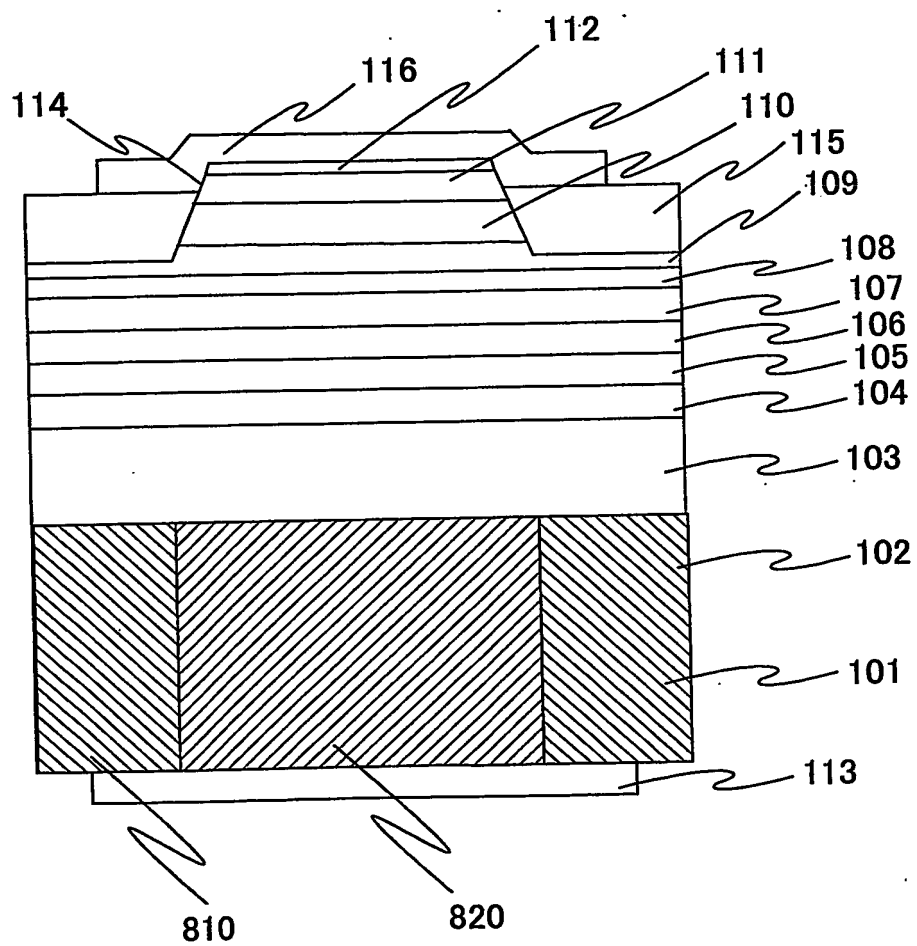


FIG.15

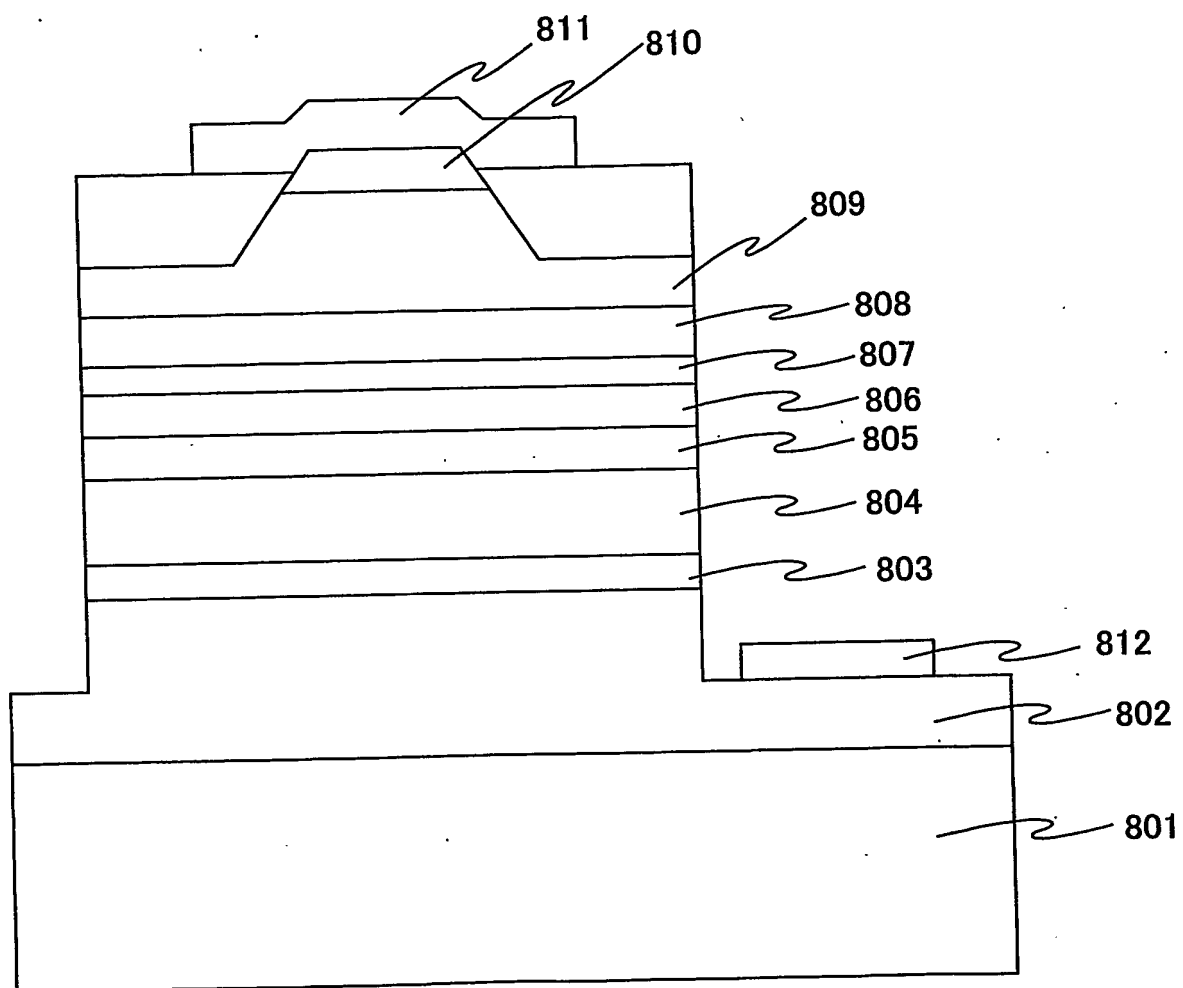
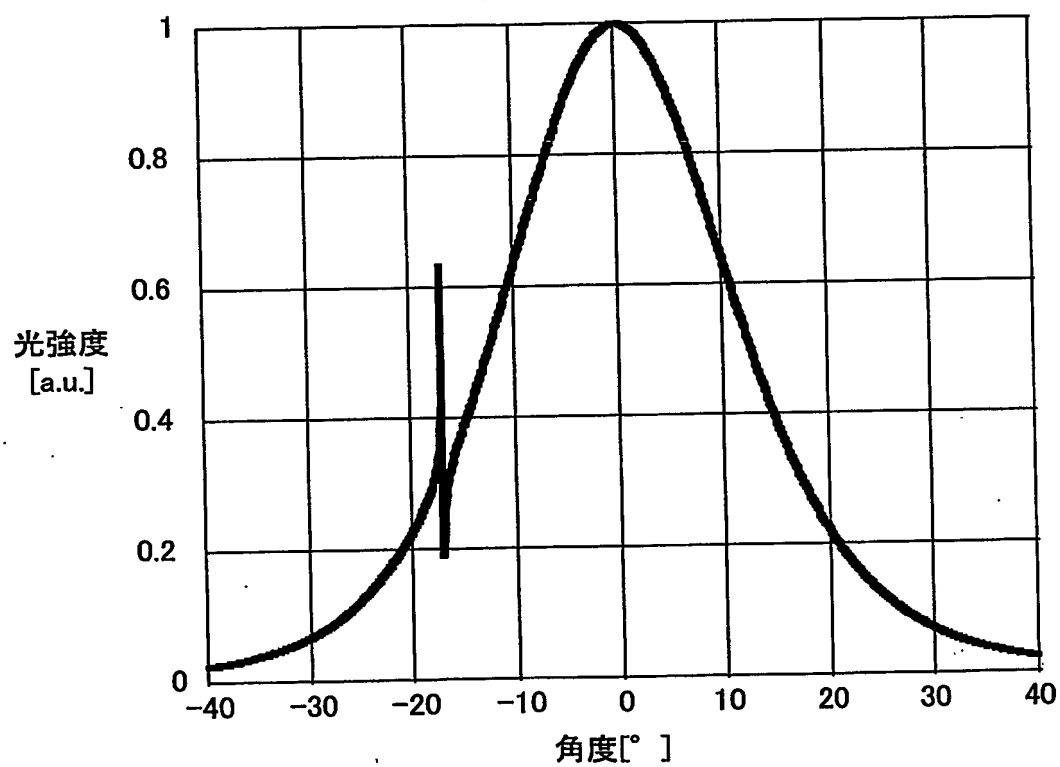


FIG.16



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/JP03/03761

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-298243 A (Sharp Corp.), 26 October, 2001 (26.10.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-19
Y	JP 2001-148539 A (Sharp Corp.), 29 May, 2001 (29.05.01), Full text; all drawings & US 6556603 B1	1-19
Y	JP 2001-85796 A (Sharp Corp.), 30 March, 2001 (30.03.01), Full text; all drawings & US 6493367 B1	1-19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
01 July, 2003 (01.07.03)

Date of mailing of the international search report  
15 July, 2003 (15.07.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/03761

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-68158 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 09 March, 1999 (09.03.99), Full text; all drawings & EP 1018770 A1	1-19
Y	JP 2001-358407 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 26 December, 2001 (26.12.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-19
Y	JP 11-68256 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 09 March, 1999 (09.03.99), Full text; all drawings (Family: none)	8-11, 16-19



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S 5/20

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S 5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-298243 A(シャープ株式会社), 2001. 10. 26, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-19
Y	JP 2001-148539 A(シャープ株式会社), 2001. 05. 29, 全文, 全図 & US 6556603 B1	1-19
Y	JP 2001-85796 A(シャープ株式会社), 2001. 03. 30, 全文, 全図 & US 6493367 B1	1-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.07.03

国際調査報告の発送日

15.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉野 三寛



2K

9010

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-68158 A(三洋電機株式会社), 1999. 03. 09, 全文, 全図 & EP 1018770 A1	1-19
Y	JP 2001-358407 A(富士写真フイルム株式会社), 2001. 12. 26, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-19
Y	JP 11-68256 A(日亜化学工業株式会社), 1999. 03. 09, 全文, 全図(ファミリーなし)	8-11, 16-19